ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ &
ΦΥΣΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΗΡΩΩΝ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟΥ 9
ΑΘΗΝΑ 157 80
Τηλ: 210 772-3032, Fax: 210 772-3025

NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
DEPARTMENT OF PHYSICS
ZOGRAFOU CAMPUS
157 80 ATHENS - GREECE
Phone : +30 210 772-3032, Fax: +30 210 772-3025
html://www.physics.ntua.gr

Στοιχειώδη Σωματίδια Ι, ΣΕΜΦΕ 7° Εξ., Ακ. Έτος 2015-2016, Κανονική Εξέταση

Διδάσκοντες: Θ. Αλεξόπουλος, Συνεργάτης: Κ. Ντρέκης
Τετάρτη 20.1.2015 12:00, Διάρκεια 2 ώρες

Θέμα 1. Αρνητικά φορτισμένο καόνιο, K^-, συγκρούεται με πρωτόνιο που βρίσκεται σε ηρεμία σύμφωνα με την αντίδραση

$$K^- + p \longrightarrow \pi^0 + \Lambda^0$$

Χρησιμοποιήστε φυσικές μονάδες ($c = 1$). Θεωρώντας ότι τα παραγόμενα Λ^0 ηρεμούν στο σύστημα αναφοράς του εργαστηρίου

α) Να γράψετε να τετραδιανύσματα που αφορούν τα αρχικά και τελικά σωματίδια και να συγκρίνετε τις ορμές p_{K^-} και p_{π^0}.

β) Να βρείτε την ενέργεια του εισερχόμενου K^- (ως συνάρτηση των μαζών $m_{K^-}, m_p, m_{\pi^0}, m_{\Lambda^0}$)

γ) Εξετάστε αν το παραγόμενο ακίνητο Λ^0 επιτρέπεται να διασπαστεί ως

$$\Lambda^0 \longrightarrow \Sigma^- + K^+$$

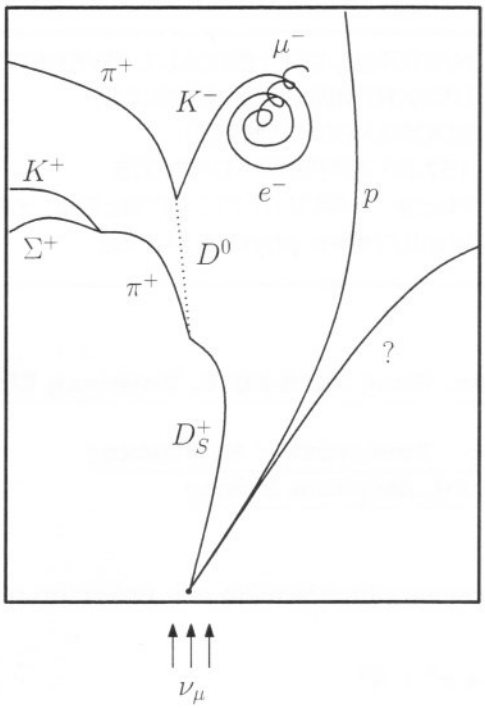
Θέμα 2. Για τη σκέδαση $\mu^-\mu^- \to \mu^-\mu^-$ (μιονίου - μιονίου) χωρίς σπιν:

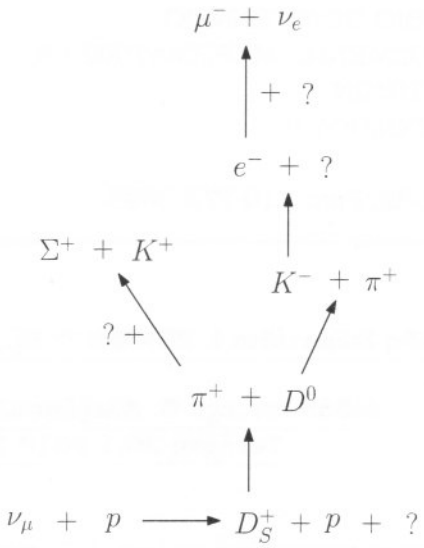
α) Να δοθούν τα πιθανά διαγράμματα Feynman 1ης τάξης.

β) Με τους κατάλληλους κανόνες Feynman, εξηγώντας όπου είναι δυνατόν πως τους χρησιμοποιείτε, κατασκευάστε την έκφραση για το αναλλοίωτο πλάτος $-i\mathcal{M}_{\mu^-\mu^-\to\mu^-\mu^-}$

γ) Χωρίς επιπλέον διαγράμματα και υπολογισμούς κάνετε τις κατάλληλες αλλαγές στο παραπάνω αποτέλεσμα για να καταλήξετε στο πλάτος σκέδασης $-i\mathcal{M}_{\mu^-\mu^+\to\mu^-\mu^+}$

Θέμα 3. Δέσμη νετρίνων μιονίου, ν_μ, εισέρχεται σ' ένα θάλαμο υδρογόνου και αντιδρά με τα πρωτόνιά του. Οι αντιδράσεις αφήνουν τα ίχνη που φαίνονται στο παρακάτω σχήμα και παρουσιάζονται στο διπλανό διάγραμμα.





α) Συμπληρώστε τα σωματίδια που λείπουν στο διάγραμμα δικαιολογώντας την επιλογή σας.

β) Ελέγξτε τη διατήρηση των κβαντικών αριθμών (Q,B,l,S) και εξηγήστε το είδος της αντίδρασης.

γ) Δώστε το κατάλληλο διάγραμμα Feynman για την κάθε αντίδραση. (Στην περίπτωση ισχυρής αλληλεπίδρασης επιλέξτε και τα κατάλληλα χρώματα για τα quarks των σωματιδίων που συμμετέχουν).

Θέμα 4. Το 2003 ανακοινώθηκε η πιθανή ανακάλυψη του Θ^+ ενός νέου είδους σωματιδίου που είναι γνωστό ως πεντα-quark $(u_r u_b ? d_r ?)$.

α) Θεωρώντας ότι το Θ^+ έχει παραδοξότητα $S = 1$, μαγεία $C = 0$, ομορφία $\tilde{B} = 0$ καθώς και το γεγονός ότι ως φυσικό σωματίδιο θα είναι "άχρωμο" συμπληρώστε τα quarks που το αποτελούν.

β) Αν γνωρίζετε ότι το Θ^+ είναι το μοναδικό σωματίδιο στην οικογένειά του υπολογίστε την κατάσταση ισοσπίν $|II_3\rangle$ στην οποία βρίσκεται.

γ) Αν οι κύριες διασπάσεις του Θ^+ είναι σε nK^+ και pK^0 υπολογίστε τον λόγο των ρυθμών διάσπασης

$$R = \frac{\Gamma(\Theta^+ \to n + K^+)}{\Gamma(\Theta^+ \to p + K^0)}$$

Τα θέματα είναι ισοδύναμα. Να απαντήσετε σε όλα τα θέματα.

Καλή επιτυχία.

ΜΕΣΟΝΙΑ			
Σύμβολο	quarks	$I^G(J^{PC})$	Μάζα (GeV/c²)
π^+	$u\bar{d}$	$1^-(0^-)$	0.140
π°	$u\bar{u}, d\bar{d}$	$1^-(0^{-+})$	0.135
η	$u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$	$0^+(0^{-+})$	0.547
η'	$u\bar{u}, d\bar{d}, s\bar{s}$	$0^+(0^{-+})$	0.958
K^+	$u\bar{s}$	$\frac{1}{2}(0^-)$	0.494
K°	$d\bar{s}$	$\frac{1}{2}(0^-)$	0.498
ρ^+	$u\bar{d}$	$1^+(1^{--})$	0.770
ρ°	$u\bar{u}, d\bar{d}$	$1^+(1^{--})$	0.770
ω	$u\bar{u}, d\bar{d}$	$0^-(0^{-+})$	0.782
φ	$s\bar{s}$	$0^-(0^{-+})$	1.020
K^{*+}	$u\bar{s}$	$\frac{1}{2}(1^-)$	0.892
$K^{*\circ}$	$d\bar{s}$	$\frac{1}{2}(1^-)$	0.892
J/ψ	$c\bar{c}$	$0^-(1^{--})$	3.097
Υ	$b\bar{b}$	$0^-(1^{--})$	9.460
D^+	$c\bar{d}$	$\frac{1}{2}(0^-)$	1.869
D°	$c\bar{u}$	$\frac{1}{2}(0^-)$	1.865
D_s^+	$c\bar{s}$	$0(0^-)$	1.969
B^+	$u\bar{b}$	$\frac{1}{2}(0^-)$	5.279
B°	$d\bar{b}$	$\frac{1}{2}(0^-)$	5.279
B_s^0	$s\bar{b}$	$0(0^-)$	5.279

ΒΑΡΥΟΝΙΑ			
Σύμβολο	quarks	$I(J^P)$	Μάζα (GeV/c²)
p	uud	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	0,938
n	udd	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	0,940
Σ^+	uus	$1(\frac{1}{2}^+)$	1,189
Σ^0	uds	$1(\frac{1}{2}^+)$	1,193
Λ^0	uds	$0(\frac{1}{2}^+)$	1,116
Σ^-	dds	$1(\frac{1}{2}^+)$	1,197
Ξ^0	uss	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	1,315
Ξ^-	dss	$\frac{1}{2}(\frac{1}{2}^+)$	1,321
Δ^{++}	uuu	$\frac{3}{2}(\frac{3}{2}^+)$	1,232
Δ^+	uud	$\frac{3}{2}(\frac{3}{2}^+)$	1,232
Δ^0	udd	$\frac{3}{2}(\frac{3}{2}^+)$	1,232
Δ^-	ddd	$\frac{3}{2}(\frac{3}{2}^+)$	1,232
Σ^{*+}	uus	$1(\frac{3}{2}^+)$	1,189
Σ^{*-}	uds	$1(\frac{3}{2}^+)$	1,193
Σ^{*0}	dds	$1(\frac{3}{2}^+)$	1,197
Ξ^{*0}	uss	$\frac{1}{2}(\frac{3}{2}^+)$	1,315
Ξ^{*-}	dss	$\frac{1}{2}(\frac{3}{2}^+)$	1,321
Ω^-	sss	$0(\frac{3}{2}^+)$	1,672
Λ_c^+	udc	$1(\frac{1}{2}^+)$	2,285
Λ_b^+	udb	$1(\frac{1}{2}^+)$	5,641

$$\Lambda=\begin{bmatrix}\gamma & -\gamma\beta & 0 & 0\\ -\gamma\beta & \gamma & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \qquad x^{\mu'}=\Lambda^{\mu}_{\nu}x^{\nu}$$

$$\frac{dx^\mu}{d\tau}=\eta^\mu=\gamma(c,\upsilon_x,\upsilon_y,\upsilon_z)$$

$$p^\mu=m\eta^\mu$$

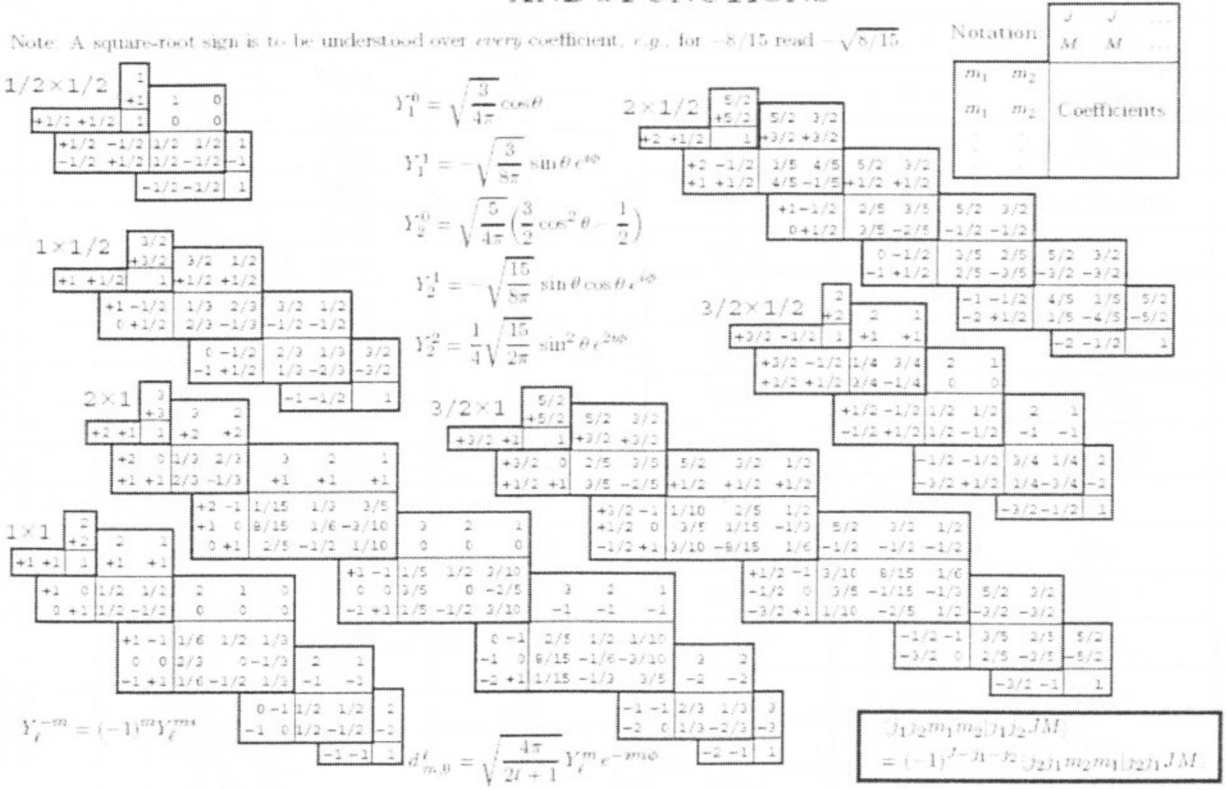
$$I=g_{\mu\nu}\,x^\mu x^\nu=x_\mu x_\nu$$

$$g_{\mu\nu}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & -1 & 0 & 0\\ 0 & 0 & -1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -1\end{bmatrix}$$

$$V_{CKM}=\begin{pmatrix}V_{ud} & V_{us} & V_{ub}\\ V_{cd} & V_{cs} & V_{cb}\\ V_{td} & V_{ts} & V_{tb}\end{pmatrix}=\begin{pmatrix}0,97 & 0,22 & 0,004\\ -0,22 & 0,97 & 0,04\\ 0,004 & -0,04 & 0,99\end{pmatrix}$$

35. CLEBSCH-GORDAN COEFFICIENTS, SPHERICAL HARMONICS, AND d FUNCTIONS

Note: A square-root sign is to be understood over *every* coefficient, *e.g.*, for $-8/15$ read $-\sqrt{8/15}$.



Quantity	Symbol, equation	Value	Uncertainty (ppb)
speed of light in vacuum	c	$299\,792\,458$ m s^{-1}	exact*
Planck constant	h	$6.626\,0693(11)\times10^{-34}$ J s	170
Planck constant, reduced	$\hbar \equiv h/2\pi$	$1.054\,571\,68(18)\times10^{-34}$ J s	170
		$= 6.582\,119\,15(56)\times10^{-22}$ MeV s	85
electron charge magnitude	e	$1.602\,176\,53(14)\times10^{-19}$ C $= 4.803\,204\,41(41)\times10^{-10}$ esu	85, 85
conversion constant	$\hbar c$	$197.326\,968(17)$ MeV fm	85
conversion constant	$(\hbar c)^2$	$0.389\,379\,323(67)$ GeV^2 mbarn	170
electron mass	m_e	$0.510\,998\,918(44)$ MeV$/c^2 = 9.109\,3826(16)\times10^{-31}$ kg	86, 170
proton mass	m_p	$938.272\,029(80)$ MeV$/c^2 = 1.672\,621\,71(29)\times10^{-27}$ kg	86, 170
		$= 1.007\,276\,466\,88(13)$ u $= 1836.152\,672\,61(85)\, m_e$	0.13, 0.46
deuteron mass	m_d	$1875.612\,82(16)$ MeV$/c^2$	86
unified atomic mass unit (u)	(mass ^{12}C atom)$/12 = (1\text{ g})/(N_A\text{ mol})$	$931.494\,043(80)$ MeV$/c^2 = 1.660\,538\,86(28)\times10^{-27}$ kg	86, 170
permittivity of free space	$\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$	$8.854\,187\,817\ldots\times10^{-12}$ F m^{-1}	exact
permeability of free space	μ_0	$4\pi\times10^{-7}$ N A$^{-2} = 12.566\,370\,614\ldots\times10^{-7}$ N A^{-2}	exact
fine-structure constant	$\alpha = e^2/4\pi\epsilon_0\hbar c$	$7.297\,352\,568(24)\times10^{-3} = 1/137.035\,999\,11(46)$†	3.3, 3.3
classical electron radius	$r_e = e^2/4\pi\epsilon_0 m_e c^2$	$2.817\,940\,325(28)\times10^{-15}$ m	10
(e^- Compton wavelength)$/2\pi$	$\lambda\!\!\!^{-}_e = \hbar/m_e c = r_e\alpha^{-1}$	$3.861\,592\,678(26)\times10^{-13}$ m	6.7
Bohr radius ($m_{\text{nucleus}} = \infty$)	$a_\infty = 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_e e^2 = r_e\alpha^{-2}$	$0.529\,177\,2108(18)\times10^{-10}$ m	3.3
wavelength of 1 eV$/c$ particle	$hc/(1\text{ eV})$	$1.239\,841\,91(11)\times10^{-6}$ m	85
Rydberg energy	$hcR_\infty = m_e e^4/2(4\pi\epsilon_0)^2\hbar^2 = m_e c^2\alpha^2/2$	$13.605\,6923(12)$ eV	85
Thomson cross section	$\sigma_T = 8\pi r_e^2/3$	$0.665\,245\,873(13)$ barn	20
Bohr magneton	$\mu_B = e\hbar/2m_e$	$5.788\,381\,804(39)\times10^{-11}$ MeV T^{-1}	6.7
nuclear magneton	$\mu_N = e\hbar/2m_p$	$3.152\,451\,259(21)\times10^{-14}$ MeV T^{-1}	6.7
electron cyclotron freq./field	$\omega^e_{\text{cycl}}/B = e/m_e$	$1.758\,820\,12(15)\times10^{11}$ rad s^{-1} T^{-1}	86
proton cyclotron freq./field	$\omega^p_{\text{cycl}}/B = e/m_p$	$9.578\,833\,76(82)\times10^{7}$ rad s^{-1} T^{-1}	86
gravitational constant‡	G_N	$6.6742(10)\times10^{-11}$ m^3 kg^{-1} s^{-2}	1.5×10^5
		$= 6.7087(10)\times10^{-39}\,\hbar c\,(GeV/c^2)^{-2}$	1.5×10^5
standard gravitational accel.	g_n	$9.806\,65$ m s^{-2}	exact
Avogadro constant	N_A	$6.022\,1415(10)\times10^{23}$ mol^{-1}	170
Boltzmann constant	k	$1.380\,6505(24)\times10^{-23}$ J K^{-1}	1800
		$= 8.617\,343(15)\times10^{-5}$ eV K^{-1}	1800
molar volume, ideal gas at STP	$N_A k(273.15\text{ K})/(101\,325\text{ Pa})$	$22.413\,996(39)\times10^{-3}$ m^3 mol^{-1}	1700
Wien displacement law constant	$b = \lambda_{\max}T$	$2.897\,7685(51)\times10^{-3}$ m K	1700
Stefan-Boltzmann constant	$\sigma = \pi^2k^4/60\hbar^3c^2$	$5.670\,400(40)\times10^{-8}$ W m^{-2} K^{-4}	7000
Fermi coupling constant**	$G_F/(\hbar c)^3$	$1.166\,37(1)\times10^{-5}$ GeV^{-2}	9000
weak-mixing angle	$\sin^2\hat\theta(M_Z)$ ($\overline{\text{MS}}$)	$0.23120(15)$††	6.5×10^5
$W^\pm$ boson mass	m_W	$80.425(38)$ GeV$/c^2$	4.8×10^5
Z^0 boson mass	m_Z	$91.1876(21)$ GeV$/c^2$	2.3×10^4
strong coupling constant	$\alpha_s(m_Z)$	$0.1187(20)$	1.7×10^7

$\pi = 3.141\,592\,653\,589\,793\,238$ $\quad e = 2.718\,281\,828\,459\,045\,235$ $\quad \gamma = 0.577\,215\,664\,901\,532\,861$

1 in $\equiv$ 0.0254 m	1 G $\equiv 10^{-4}$ T	1 eV $= 1.602\,176\,53(14)\times10^{-19}$ J	kT at 300 K $= [38.681\,684(68)]^{-1}$ eV
1 Å $\equiv$ 0.1 nm	1 dyne $\equiv 10^{-5}$ N	1 eV$/c^2 = 1.782\,661\,81(15)\times10^{-36}$ kg	0 °C $\equiv$ 273.15 K
1 barn $= 10^{-28}$ m^2	[illegible]		1 atmosphere $=$ 760 Torr $=$ 101 325 Pa